

碳市场配额分配方式对厂商决策行为的影响研究

黄宗煌 蔡世峰*

摘要: 本文研究永久有效及当期有效两种有效期下的碳配额分配方式对厂商决策行为的影响。通过建模,分别推导出这两类有效期下配额的净市场需求函数,并比较分析:厂商在不同有效期下的碳减排决策;厂商在一级市场和二级市场同时存在时的碳减排决策;比较溯往原则与拍卖这两种配额分配方式对激励厂商实施碳减排的效果。研究表明:产品的均衡价格在碳配额当期有效时的水平会高于其永久有效时的水平,且永久有效时的配额价格将高于当期有效时的配额价格。而一级市场中的配额价格通常低于二级市场中的价格,且厂商在配额免费分配制度下的产量将低于拍卖分配制度下的产量,但碳减排量则更高。

关键词: 碳交易; 配额分配; 溯往原则; 拍卖

一、引言

为应对全球气候变化,发展绿色低碳经济已成为世界各国经济发展的共同目标。自“十二五”以来,中央政府高度重视绿色低碳发展工作,采取强有力的政策,包括启动全国碳排放权交易试点,推进全球控制温室气体排放的进程。相较于直接管制,碳配额交易具有多项优点^①,在美国、澳大利亚及欧洲部分国家都曾实施此机制来改善空气污染、水资源利用及水污染等问题。如美国环保署(EPA)主导的酸雨方案、加州的区域清洁空气激励市场(California's Regional Clean Air Incentives Market, RECLAIM)、澳大利亚推行多年的水权交易制度,都获得了相当显著的成效。《京都议定书》中将碳排放交易制度列为三大弹性机制之一。在中国台湾地区,1999

*黄宗煌,中国台湾综合研究院,邮政编码:10001,电子邮箱:chhuang1019@gmail.com;蔡世峰,湖北经济学院碳排放权交易湖北省协同创新中心,邮政编码:430205,电子邮箱:a8565257@gmail.com。

感谢匿名审稿人提出的宝贵建议,文责自负。

①Malueg(1990)曾指出碳排放权交易的部分优点如下:(1)具有成本有效性;(2)降低管制核查单位的信息成本;(3)可激励厂商进行碳减排技术创新。此外,允许碳排放权进行交易的另一个更为重要的原因是为了让未来潜在的厂商有机会取得配额的机会,否则新进厂商在排放总量管制下,将因无法取得配额而被拒绝于市场之外,这不但不公平,且将大幅损伤国民福祉。

年修订公布的《大气污染防治法》及2015年《温室气体减量及管理办法》中也在总量管制与排放交易等政策工具中将其纳入。我国政府因应对气候变化的严峻形势,2011年由国家发改委批准北京、天津、上海、重庆、湖北省、广东省及深圳7个省市为碳排放权交易试点,为建设全国统一碳市场提供实践经验。由此可见,碳排放权交易市场在未来的环境治理计划中将扮演极为重要的角色。

完整的碳排放权交易制度应该包含下列五项机制(黄宗煌、李坚明,1999):(1)碳减排目标及其实施阶段的确立机制;(2)碳排放权配置的机制;(3)厂商的决策行为机制;(4)碳排放权的市场交易机制;(5)监测、报告和核查制度(MRV)。在交易制度推行初期的棘手问题之一往往是碳排放权配额的有效期限,例如,配额的有效期应为永久有效抑或当期有效?若为当期有效,那期限又该定为几年?这些问题可从交易成本、社会正义及公平性等角度思考以获得答案。其中至关重要的问题是:不同有效期对厂商的生产与碳减排决策的影响究竟有何差异?哪一个对厂商控制碳排放量会有较好的激励效果?再者,一般都会有如下预期:当配额永久有效时,其在二级市场的价格理应高于当期有效时的价格水平。然而,已有文献却无具体的理论基础进行验证。

配额的期初发放方式也是一个至关重要的问题。文献大多局限于分析如何在国际间配置碳排放量的问题(Rose & Steven, 1993; Janssen, 1998),涉及国内各经济部门之间配置原则的研究较少(Downing & White, 1986)。吴再益等(1999)列举了下列配额分配方式:历史排放量分配法(即溯往原则)、边际减排成本分配法、就业人口数量分配法、附加产值占GDP比重分配法以及拍卖法。此外,中国台湾地区的“工业技术研究院”于2010年提出固定比例减排模式。李坚明(2011)提出欧盟第三阶段模式,童迁祥(2011)提出自下而上的减排模式,李丛祯(2008)提出最优控制模式,黄宗煌和杨晴雯(2010)则提出成本有效模式。对最具有实践经验的美国而言,“溯往原则”是其最常用的分配方式,而且期初的配额发放采取免费且宽松的分配方式,主要目的是减少厂商抵制情绪,以促进碳市场有序发展。然而,“溯往原则”也颇受环保团体及诸多环境经济学者诟病,因为免费发放不符合“污染者付费原则”,历史排放量大的厂商可以获得较多的配额量,不但有失社会正义,也将增加潜在厂商进入市场的障碍。因此许多学者认为,如果配额的期初发放采用拍卖的方式,可能可以同时解决污染者付费与社会正义的问题(Franciosi et al., 1993)。

溯往原则与拍卖这两种发放方式给厂商造成的成本负担截然不同,厂商的生产与碳减排决策也将随之变化。就现阶段来说,免费分配与拍卖方式并存,并由主管机关定期拍卖保留的配额,已成为主流。但问题是:当厂商同时面对以效率配置为导向的一级市场及以成本有效性为导向的二级市场时,其决策将更加复杂,而此问题在文献上没有同时得到深入研究,却是关系到碳排放权交易制度设计的另一个重要议题。

为弥补上述文献的不足,本文旨在比较分析厂商在不同的配额有效期下的生产与碳减排

决策,通过构建一个决策行为模型,来分析厂商在同时面临一级市场及二级市场时的产品生产与碳减排的行为决策,同时也进一步比较溯往原则与拍卖对激励厂商控制温室气体排放的不同效果。本文第二节将梳理相关文献,特别是可行的配额拍卖制度,并评述当前美国所施行的配额发放制度;第三节分析厂商在配额为当期有效与永久有效时的行为决策,同时比较产品与配额均衡价格在两种有效期下的差异;第四节则着重于厂商在同时处于一级市场与二级市场时决策行为的模型构建,分析厂商的产品生产、碳减排及最优出价行为,并比较厂商在拍卖方式与溯往原则下的决策差异,最后部分则为本文的结论。

二、文献回顾

碳排放配额的有效期可分为当期有效与永久有效两种。在允许交易后,主管部门通常会介入,逐年收回一定比例的配额量,以达到之前所设定的减排目标。一般文献在研究时皆假设配额为永久有效(Kort, 1996),如美国所施行的酸雨方案,并且规定每年需收回约2.8%的配额量,其中2.24%提供到一级市场上拍卖;然而与酸雨方案不同,RECLAIM所发放的配额则属于当期有效。总结相关文献得知:永久有效的配额较为有利;当期有效的配额则可降低管理部门的核查成本,并可根据实际情况灵活调整减排阶段。

回顾相关文献发现关于配额有效期和厂商行为决策之间联系的研究并不多。此外,当配额有效期不同时,行政管理成本的特性也可能不同,截至目前并没有先验信息可以比较在不同有效期下的一般类型与大小。配额交易机制的成败取决于配额的发放方式,影响着厂商的生产与其控制温室气体排放的行为决策,并且也将对社会收入再分配造成影响。溯往原则下的免费分配与拍卖方式下的有偿分配是当前最受青睐的两种配额发放方式,不过,已有文献多集中于研究各种免费发放原则,并从技术创新效果、社会正义、公平性、可行性以及成本有效性等层面进行比较分析,至于拍卖制度对于碳减排的激励效果,以及比较拍卖与免费发放方式的相关研究却不多见。Milliman和Prince(1989)利用技术创新激励的方法比较免费发放和拍卖发放两种配额分配方式,发现拍卖分配给厂商从事创新的激励效果会大于免费分配,然而此结论仅考虑一级市场,并未顾及二级市场的作用。整理相关文献可以总结出:溯往原则可以减少推行碳减排的阻力,但会因历史排放量高的厂商获得较多的配额而违背社会正义,且会增加潜在厂商进入市场的障碍。拍卖原则可使得配额的分配更具有效率,且具有双重红利^①和减少潜在厂商进入市场的障碍,却会导致大型企业垄断配额。

大多数文献只局限于两种发放方式的比较研究,并未分析完整的碳交易市场应有的制度

^①因政府可通过拍卖配额的方式增加财政收入,以减少其它扭曲的租税课征。

安排,包括初期配额发放方式的选择,厂商在二级交易市场的买卖水平等。因此,本文第四节将基于一个完整的交易体系,来分析厂商的生产、碳减排和最优出价行为,并比较分析厂商在两种不同的配额发放方式下可能的决策差异。

至于一级市场的配额价格一直低于二级市场价格的现象,文献中的解释为二级市场的交易大部分是通过中介(掮客)来进行,因此有比较高的交易成本;另一方面,在一级市场,一般厂商均认为如果出高价取得配额,会比出低价而未取得配额的损失高,存在“赢者诅咒”现象,因此厂商宁愿冒着未取得配额的风险而压低出价(Rose, 1997)。不过Rose(1997)并未就一级市场的价格低于二级市场价格的现象提出合理的理论基础,而两者具有显著正相关性,更缺乏合适的理论说明,因此本文的研究将弥补此不足。

三、碳配额的有效期差异对厂商行为决策的影响

本节是在期初采取免费发放配额的前提假设下,说明厂商分别在配额当期有效与永久有效时的生产与控制温室气体排放的行为决策,并比较分析其差异,同时也比较配额价格在两种有效期下的差异。

首先说明本文所设定的若干基本假设。假设产品市场与配额交易市场均为完全竞争,即所有单个厂商的决策均无法影响两个市场的均衡价格,故厂商都是市场价格的接受者。厂商在生产过程中,除了生产性投入外,还需要考虑碳减排的投入,所以厂商的总成本包括生产成本 $c(q)$ 及减排成本 $T(a)$, 其中 q 为单个厂商的产量, a 为单个厂商的减排量。假设 $c' > 0, c'' > 0$ 及 $T' > 0, T'' > 0$ 。本文假设所有厂商有相同的成本函数 $c(q)$, 但减排技术不同,所以减排成本函数 $T(a)$ 不同。为简化起见,假设政府期初分配采取平均分配的方式,即

$$\bar{e}_t = \frac{\bar{E}_t}{N}, \forall t \geq 0 \quad (1)$$

(1)式中, \bar{e}_t 表示厂商在各期所得到的期初配额, \bar{E}_t 为行政管理部门各期期初所核发的配额总量,下标 t 表示为时间, N 为厂商的数量。

不论厂商是配额的供给者还是需求者,都可以在配额交易市场自由交易,且均能达成交易。因此,配额交易市场的出清条件为:

$$\sum_{i=1}^N s_{it} = 0 \quad (2)$$

(2)式中, s_{it} 为厂商的配额可交易量或净需求。当 $s_{it} > 0$, 表示厂商 i 为配额交易市场的需求者;反之,若 $s_{it} < 0$, 则表示厂商 i 为配额交易市场的供给者。

假设配额无法储存,厂商 i 的碳排放量等于其配额总量,而此碳排放量等于其生产过程中的实际碳排放量与减排量的差额;配额总量等于当期厂商所拥有的配额与其在配额交易市场中所决定的交易量的总和,换言之:

$$\alpha q_{it} - a_{it} = s_{it} + \bar{e}_t, \forall t \geq 0 \quad (3)$$

(3)式中, α 为单位产量的碳排放量,可以衡量该产品的清洁程度。 $\alpha \in [1, \bar{\alpha}]$, 其中 $\bar{\alpha}$ 为大于1的常数。

为便于比较,假设行政管理部门在期初就已经确定总量管制目标,此目标不会随着配额有效期期的不同而变化,即

$$\sum_{i=1}^N e_{it}^{-c} = \sum_{i=1}^N e_{it}^p, \forall t > 0 \quad (4)$$

(一) 当配额为当期有效时的厂商决策

假设配额为当期有效,并且不考虑行政成本^①,厂商追求现值最大化的决策行为可表示如下:

$$\underset{\{q_{it}, a_{it}\}}{\text{Max}} PV = \int_0^T e^{-rt} \cdot [p_t q_{it} - c(q_{it}) - T_t(a_{it}) - m_t s_{it}] dt \quad (5)$$

$$s.t. \alpha q_{it} - a_{it} = s_{it} + \bar{e}_t$$

$$\bar{e}_t = \bar{e}_0, \forall t \geq 0$$

(5)式中, r 为贴现率, p_t 、 m_t 分别表示为产品价格和二级市场的配额价格,均为外生给定; q_{it} 表示为第 i 家厂商第 t 期的产量。厂商的利润现值等于各期产品市场总收入的现值扣除总成本的现值,而总成本等于生产性投入成本加上减排投入成本,再加上二级市场配额交易量的总价值。上述问题的一阶必要条件如下所示:

$$p_t = c'(q_{it}) + \alpha m_t \quad (6)$$

$$T'_t = m_t \quad (7)$$

由此可知,厂商从事生产与碳减排的决策准则:(1)最优产量水平(q_{it}^c)等于产品价格为(p_t)时所对应的产量,而产品价格则由边际生产成本 $c'(q_{it})$ 与单位产量的配额成本 (αm_t) 之和所决定;(2)最优减排水平 (a_{it}^c) 由当期边际减排成本 ($T'(a_{it})$) 等于配额的市价 (m_t) 时所对应的减排量决定。根据(6)与(7)式,对各个外生变量对均衡解进行比较静态分析,其结果如表1所示。

另外,也可以求解出单个厂商对配额的净需求函数,得到如下方程:

$$s_{it}^c = \alpha q_{it}^c - a_{it}^c - \bar{e}_0 \equiv s_{it}^c(m_t, p_t) \quad (8)$$

且可证明式(8)具有如下特性:(1) $\partial s^c / \partial m < 0$, $\partial s^c / \partial p > 0$; (2)在前述假设下,必定存在一个配额保留价格 \hat{m}_t ,使得下式成立:

^① 配额为当期有效与永久有效的最大不同是:在当期有效的规定下,管理单位须规定配额的使用期限,配额到期时须重新发放,增加行政成本;而在永久有效下,厂商一旦取得配额即可永久使用,然而却会增加管理单位的核查成本。有效期不同,其行政成本虽然可能不同,但因无先验信息可断定其一般类型,且一般均由政府负担,故本文不考虑行政成本的潜在差异。

$$\begin{cases} \text{当 } m_{it} > \hat{m}_t \text{ 时, } s_{it}^c < 0 \\ \text{当 } m_{it} \leq \hat{m}_t \text{ 时, } s_{it}^c \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

由式(8)水平加总即可求得配额的净市场需求函数 $s_{it}^c(m_t, p_t) = \sum_{i=1}^N s_{it}^c$, 其中 $\partial s^c / \partial m < 0$, $\partial s^c / \partial p > 0$; 再用式(2), 可进一步求出配额的均衡价格 ($m_{it}^c = m^c, \forall t > 0$)。

表 1 当期有效与永久有效下的比较静态分析

	当期有效	永久有效
$\frac{dq_t^*}{dp_t}$	$\frac{1}{c''(q_t)} > 0$	$\frac{1}{c''(q_t)} > 0$
$\frac{dq_t^*}{dr}$	不影响	$\frac{-am_t}{(1+r)^2 \cdot c''(q_t)} < 0$
$\frac{dq_t^*}{da}$	$\frac{-m_t}{c''(q_t)} < 0$	$\frac{-ra}{(1+r) \cdot c''(q_t)} < 0$
$\frac{dq_t^*}{dm_t}$	$\frac{-a}{c''(q_t)} < 0$	$\frac{-ra}{(1+r) \cdot c''(q_t)} < 0$
$\frac{da_t^*}{dr}$	不影响	$\frac{m_t}{(1+r)^2 \cdot c''(q_t)} < 0$
$\frac{da_t^*}{dm_t}$	$\frac{1}{T''(a_t)} > 0$	$\frac{r}{(1+r) \cdot T''(a_t)} > 0$

(二) 配额为永久有效时的厂商决策

假设配额为永久有效, 那么厂商在第 t 期所拥有的配额量 e_{it} 将等于 $t-1$ 期时所持有的配额量 $e_{i(t-1)}$ 与第 t 期在配额市场上的交易量 s_{it} 的总和, 即 $e_{it} = e_{i(t-1)} + s_{it}$ 或 $s_{it} = e_{it} - e_{i(t-1)} \equiv \dot{e}$ 。企业依据上一期拥有的配额决定本期配额交易量, 比如上一期有 10 单位的配额, 这一期就生产 10 单位排放量。如果这期实际拥有 20 单位的配额, 则有 10 单位配额可用来出售。如果是这样, 则应为 $s_{it} = e_{it} - e_{i(t-1)}$, 当 $e_{it} < e_{i(t-1)}$ 时 $s_{it} < 0$, 企业为配额供给者, 当 $e_{it} > e_{i(t-1)}$ 时 $s_{it} > 0$, 企业为配额需求者。因此, 厂商在配额永久有效时的决策行为可以表示如下:

$$\max_{\{q_{it}, a_{it}\}} PV = \int_0^T e^{-rt} \cdot [p_t q_{it} - c(q_{it}) - T_i(a_{it}) - m_t s_{it}] dt \quad (10)$$

$$s.t. \alpha q_{it} - a_{it} = s_{it} + \bar{e}$$

$$\dot{e}_{it} = s_{it}, \forall t > 0$$

$$\text{给定 } e_{i0} = \bar{e}_0$$

使现值最大化的 Hamiltonian 方程式如下:

$$h = e^{-rt} [p_t q_{it} - c(q_{it}) - T_i(a_{it}) - m_t (\alpha q_{it} - a_{it} - e_{it}) + \lambda (\alpha q_{it} - a_{it} - e_{it})] \quad (11)$$

根据一阶必要条件可以得到均衡条件, 表示如下:

$$p_t = c'(q_{it}) + \frac{ram_t}{1+r} \quad (12)$$

$$T'_t(a_{it}) = \frac{r}{1+r} m_t \quad (13)$$

由式(12)、(13)与式(6)、(7)对照可知,厂商在配额为永久有效下的产量与减排量和当期有效时略有不同。当配额永久有效时,厂商的最优产量 (q_{it}^p) 取决于产品市场价格等于边际生产成本和边际产量所需配额的利息支出^①时所对应的产量,最优减排量 (a_{it}^p) 取决于边际减排成本等于边际排放量所需的配额的利息支出所对应的减排量。根据(11)式和(12)式所作的比较静态分析的结果也列于表1中。由此可知,同一外生变量对产量与减排量影响的正负符号,并不因配额的有效期长短而有所差异,只是影响大小有所不同。

与当期有效所不同的是,在永久有效的情况下,产量与减排量都将受到利率影响。因此当利率上升时,将提高取得配额所需支付的利息成本,从而产量和利率之间呈负向关系,而减排量与利率则呈现正向关系。此外,也可求解出单个厂商对配额的净需求函数,如下所示:

$$s_{it}^p = aq_{it}^p = a_{it}^p - \bar{e}_0 \equiv s_{it}^p(m_t, p_t, r) \quad (14)$$

并且可以证明(14)式具有以下特性:(1) $\partial s^p / \partial m < 0$, $\partial s^p / \partial p > 0$; (2) 在前述假设下,必定存在一个配额的保留价格 \tilde{m}_t , 且使得下列式子成立:

$$\begin{cases} \text{当 } m_{it} > \tilde{m}_t \text{ 时, } s_{it}^c < 0 \\ \text{当 } m_{it} \leq \tilde{m}_t \text{ 时, } s_{it}^c \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

对(14)式进行水平加总,可求得配额的净需求函数 $s_{it}^p(m_t, p_t, r) = \sum_{i=1}^N s_{it}^p$, 其中 $\partial s^p / \partial m < 0$, $\partial s^p / \partial p > 0$; 利用式(2)可进一步求出配额的均衡价格 $(m_{it}^p, \forall t > 0)$ 。

(三) 配额当期有效与永久有效的比较

我们根据上述结果,可以对在两种不同有效期下,厂商的决策行为和配额的市场价格之间的差异进行比较。

1. 短期下产量与减排量的比较

此处所谓的短期是指,对单个厂商而言,产品市场与配额交易市场的价格均为固定值。在其它条件都相同的情况下,根据式(6)与式(12),可以判定永久有效下的产量 (q_{it}^p) 会高于当期有效下的产量 (q_{it}^c) (如图1(a)所示)。再根据式(7)与式(13),则可推知当期有效下的减排量 (a_{it}^c) 会大

^① 厂商于第 t 期增加 1 单位的产量,其所增加的配额成本为 am_t , 然而配额为永久有效,故厂商可于 $(t+1)$ 期卖出 a 单位的配额,现值为 $am_t/(1+r)$ 。因此,厂商于第 t 期的单位产品碳排放量的利息支出为 $ram_t/(1+r)$ 。其中, $r/(1+r)$ 为利率的折现因子。

于永久有效下的减排量 (a_{it}^p) (如图 1(b)所示)。因此,在行政成本相同的情况下,配额当期有效时(如美国加州的 RECLAIM)激励厂商碳减排的效果比永久有效时(如美国 EPA 的酸雨方案)更有效。这与过去观点不同的根本原因在于永久有效下取得配额所需负担的利息成本低于市场价格。

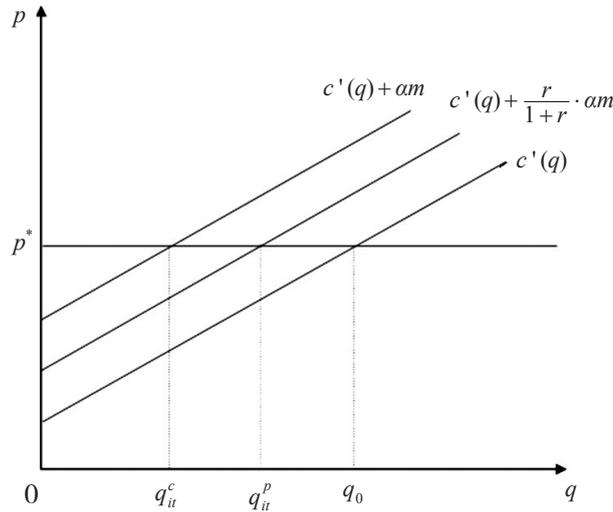


图 1(a) 厂商在不同配额有效期下的产量

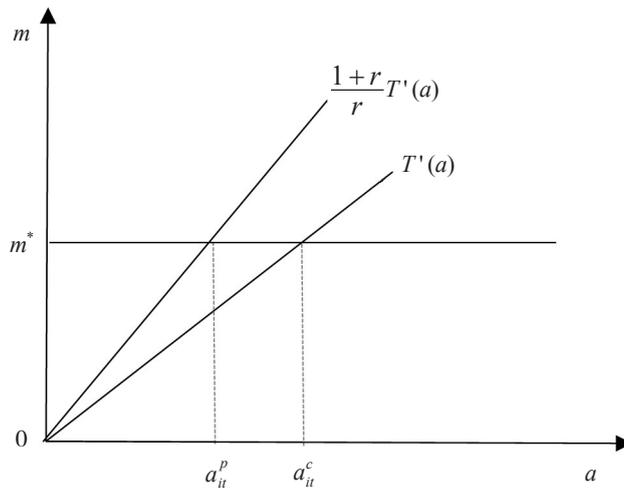


图 1(b) 厂商在不同配额有效期下的减排量

2. 长期下的价格比较

这里所谓的长期,是指产品的价格或配额的价格都有足够时间调整到市场均衡的状态。换句话说,产品市场和配额市场都处于均衡状态,前者表示式(16)成立,后者则表示式(17)成立:

$$Q_t^k(p_t) = D(p_t), \forall t > 0 \text{ 且 } k = c, p \quad (16)$$

$$S_t^k(p_t, m_t, r) = 0, \forall t > 0 \text{ 且 } k = c, p \quad (17)$$

(16)式中 $D(p_t)$ 代表产品的市场需求函数。因此,本文可以合理地假设市场需求函数不会因配额有效期长短而有所不同,而且 $\partial D/\partial p < 0$, 上标 c 代表当期有效, p 代表永久有效。

根据上述分析可知:在一定的产品价格水平下,配额为当期有效时的产品市场产量 Q_t^c 将低于永久有效时的总产量 Q_t^p 。因此,产品的均衡价格在当期有效时的水平会高于永久有效时的水平,即

$$p_t^c > p_t^p, \forall t > 0 \quad (18)$$

换句话说,即使不考虑行政成本可能因配额的有效期不同而有差异的情况,产品均衡价格仍将因有效期不同而有别。由(3)式与(10)式可以得知,在不同的配额有效期下,配额的净市场需求量如下所示:

$$S_t^c(p_t, m_t, r) = \sum_{i=1}^N [a q_{ii}(p_t^c, m_t^c) - a_{ii}(p_t^c, m_t^c) - e_{ii}^c], \forall t > 0 \quad (19)$$

$$S_t^p(p_t, m_t, r) = \sum_{i=1}^N [a q_{ii}(p_t^p, m_t^p) - a_{ii}(p_t^p, m_t^p) - e_{ii}^p], \forall t > 0 \quad (20)$$

因此,当产品市场处于均衡时,由式(19)与(20)可知式(21)必定成立,如图2所示:

$$S_t(p_t^c, m_t, r) < S_t(p_t^p, m_t, r), \forall m_t > 0 \quad (21)$$

由此可知,配额的均衡价格将因有效期不同而不同,而且 $m_t^p > m_t^c$, 即永久有效的配额价格高于当期有效的价格,这验证了一般常理的预期。

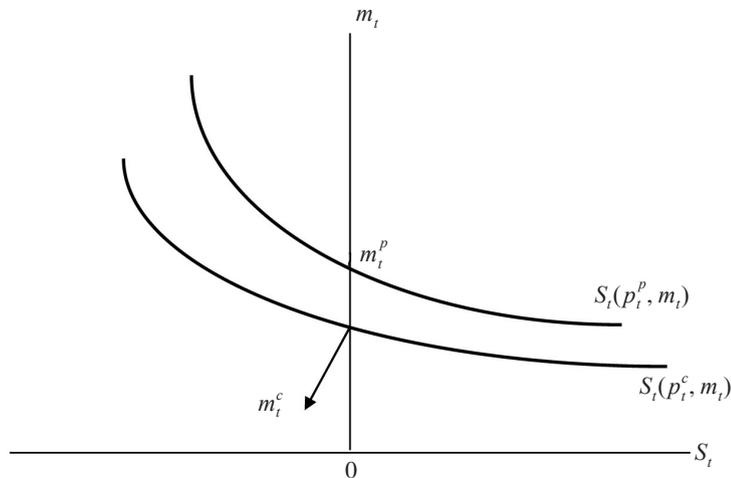


图2 配额为当期有效及永久有效时的净市场需求曲线的比较

四、完整碳交易市场下的厂商决策

本节将讨论一级市场与二级市场并存时厂商的决策。首先假设政府采用拍卖的方式来发放期初的配额,厂商在期初先从一级市场中决定其竞拍量,之后则在二级市场中买卖配额。此

处所考虑的拍卖制度为日本式的拍卖制度,即单个厂商将自身所出的价格及所想要取得的配额数量密封后,由拍卖单位同意开启所有厂商的喊价,再依序由价高者优先购得其所需的配额。本节首先将探讨分析,厂商在这种制度设计下,在一级市场获得的配额量和出价水平之间的关联,然后再讨论厂商如何决定其产量、减排量以及其在一级市场的最优出价。

(一) 厂商在一级市场的配额取得量与出价水平之间的关联

首先假设,在期初的一级市场中,由于厂商并未考虑以后形成的配额交易市场,因此会根据过去的经验,以生产过程中的实际排放量(即碳排放量扣掉减排量之后的余额),作为其在一级市场的目标配额量,即 $(aq - a)$ 。

设一级市场中有 N 家厂商,而第 i 家厂商的出价为 w_i 。假设该厂商在一级市场的保留价格为 \hat{w}_i ,其余 $N-1$ 家厂商的出价为 $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_{i-1}, v_{i+1}, \dots, v_N\}$,而且 $\hat{v} = \max\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_{i-1}, v_{i+1}, \dots, v_N\}$ 。如 Rose(1997)中所描述,厂商在一级市场出价时,一般常有偏低的倾向。因此本文假设厂商在一级市场的出价会服从高峰偏左的概率分布,并假设其余厂商所出的最高价会服从伽玛分布,即

$$f(\hat{v}) = \frac{1}{r(a) \cdot \beta^a} \cdot \hat{v}^{a-1} \cdot e^{-\frac{\hat{v}}{\beta}}, \forall \hat{v} > 0 \text{ 且 } a, \beta > 0 \quad (22)$$

为简化起见^①,令 $\alpha = 3$ 、 $\beta = 1$,则其余厂商所出最高价的分布函数为:

$$f(\hat{v}) = \frac{1}{2} \cdot \hat{v}^2 \cdot e^{-\hat{v}}, \forall \hat{v} > 0 \quad (23)$$

故 \hat{v} 的期望值为 $E(\hat{v}) = 3$,方差为 $\text{Var}(\hat{v}) = 3$ (见图3)。

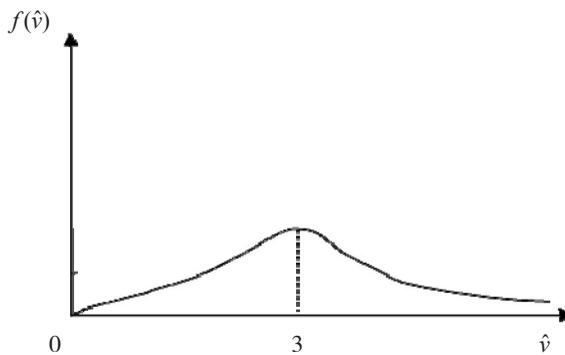


图3 \hat{v} 的概率分布

^①可用伽玛分布的一般式去求解,但推导的过程太过于庞杂,在 $\alpha = 3$ 、 $\beta = 1$ 的伽玛分布下,所得结果仍不失其一般性。附录1验证了 $\alpha = 2$ 、 $\beta = 1$ 时,其曲线与 $\alpha = 3$ 、 $\beta = 1$ 时相似。而先前假设 $\alpha \in [1, \bar{\alpha}]$,其中 $\bar{\alpha}$ 为大于1的常数,故不需再验证 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 1$ 时曲线形态。

β 为厂商 i 在一级市场中取得所需配额的比例。假设 β 与其相对出价 (w/\hat{v}) 正相关,且具有如下特性:(a)当厂商 i 出价高于其余厂商的最高出价时,将有望取得全部所需配额,即当 $w/\hat{v} > 1$ 时, $\beta = 1$; (b)当厂商 i 的出价不高于其余厂商的最高出价时,将有可能取得部分所需配额,即当 $w/\hat{v} \leq 1$ 时, $0 \leq \beta < 1$ 。因此,本文可进而假设:

$$\text{当 } w/\hat{v} \leq 1 \text{ 时, } \beta = (w/\hat{v}) - h \quad (24)$$

其中, h 代表任一正数,且 $0 < h < 1$ 。由此可知,厂商在一级市场中取得其所需配额的比例与其在一级市场的出价成正比,且与其余厂商所出的最高价成反比;而当厂商出价低于 $h\hat{v}$ 时,所取得的比例会等于0。此关系如图4所示。

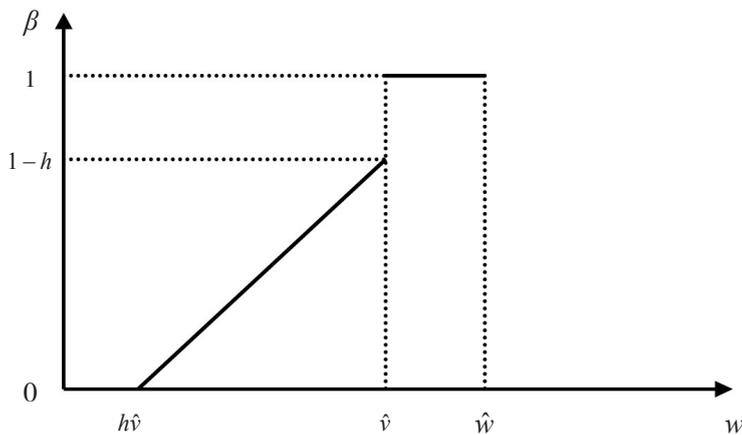


图4 β 与 w 的关系图

在上面的假设下可以得知,厂商 i 于一级市场取得部分所需配额的概率,会等于其在一级市场出价 w 且不高于其余厂商所出最高价的概率,即

$$\Pr(0 \leq \beta < 1) = \Pr(\hat{v} \geq w) = \int_w^0 \frac{1}{2} \cdot \hat{v}^2 \cdot e^{-\hat{v}} d\hat{v} = \left(\frac{1}{2} \cdot w^2 + w + 1 \right) \cdot e^{-w} \quad (25)$$

而由式(25)可得知:

$$\Pr(\beta = 1) = \Pr(\hat{v} < w) = 1 - \left(\frac{1}{2} \cdot w^2 + w + 1 \right) \cdot e^{-w} \quad (26)$$

式(26)表示,厂商 i 在一级市场取得其所需配额的概率,会等于其在一级市场的出价高于其余厂商在一级市场所出最高价的概率,由式(25)(26)可知, β 的概率分布将如表3所示。

表3 β 的概率分布

	β	$\Pr(\beta)$
$w > \hat{v}$	$\beta = 1$	$1 - \left(\frac{1}{2} \cdot w^2 + w + 1 \right) \cdot e^{-w}$
$w \leq \hat{v}$	$0 \leq \beta \leq 1 - h$	$\left(\frac{1}{2} \cdot w^2 + w + 1 \right) \cdot e^{-w}$

据此可求出 β 的期望值如下:

$$E(\beta) = 1 - \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot w^2 + w + 1 \right) \cdot e^{-w} \equiv f(w) \quad (27)$$

由式(27)可得知:

$$\frac{\partial E(\beta)}{\partial w} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot w^2 \cdot e^{-w} > 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial^2 E(\beta)}{\partial w^2} = \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot \left(w - \frac{1}{2} \cdot w^2 \right) \cdot e^{-w} \quad (29)$$

其中,(29)式的符号并不确定,其与 w 有关,如表4所示:当 $0 < w < 2$ 时,厂商在一级市场取得所需配额的比例的期望值,将随着出价水平以递增速度增加;当 $w > 2$ 时,则随着出价水平以递减速度增加。此关系可由图5二象限中曲线 $E(\beta)=f(w)$ 所代表^①。

表4 w 与 $\partial^2 E(\beta)/\partial w^2$ 的关系

	$\partial^2 E(\beta)/\partial w^2$
$w=0$ 或 $w=2$	0
$0 < w < 2$	+
$w > 2$	-

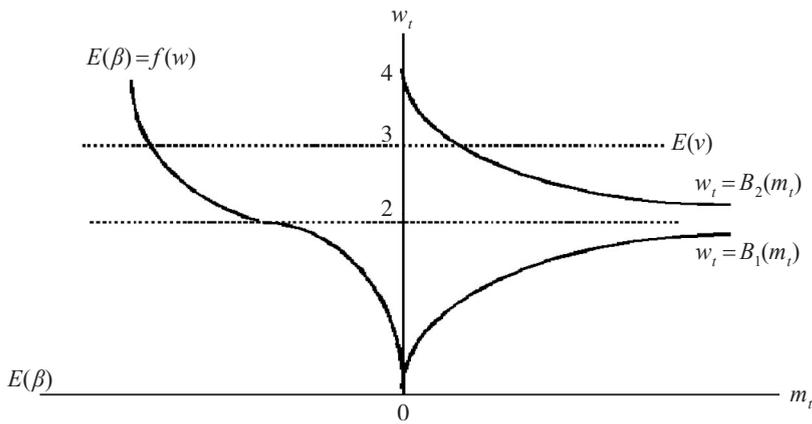


图5 二级市场配额价格、厂商在一级市场的出价以及所需配额量可得比例的关系

(二) 厂商的决策分析

延续第三节的假设,此时厂商在碳交易市场的约束条件将如下所示:

$$\alpha q_{it} - a_{it} = s_{it} + E(\beta_t) \cdot (\alpha q_{it} - a_{it}) \quad (30a)$$

对(30a)式整理后可以得到厂商在二级交易市场的净需求函数为:

$$s_{it} = [1 - E(\beta_t)] \cdot (\alpha q_{it} - a_{it}) \quad (30b)$$

^①此为伽玛分布的参数 $\alpha=3, \beta=1$ 的结论。若将 α 设定为2,其结果如附录所示。

在厂商同时面对产品市场、配额一级交易市场和二级交易市场三个市场的时候,其决策行为可以表示如下:

$$\max_{\{q_{it}, a_{it}, w_t\}} PV = \int_0^T e^{-rt} \cdot [p_t q_{it} - c(q_{it}) - T_t(a_{it}) - m_t s_{it} - w_t \cdot E(\beta_t) \cdot (\alpha q_{it} - a_{it})] dt$$

$$s.t. s_{it} = [1 - E(\beta_t)] \cdot (\alpha q_{it} - a_{it})$$

上述模型的一阶必要条件如下:

$$p_t = c'(q_{it}) + \alpha \cdot m_t \cdot [1 - E(\beta_t)] + \alpha w_t \cdot E(\beta_t) \quad (31a)$$

$$T'(a_{it}) = m_t \cdot [1 - E(\beta_t)] + w_t E(\beta_t) \quad (31b)$$

$$m_t E(\beta_t)' = E(\beta_t) + w_t E(\beta_t)'' \quad (31c)$$

我们假设均衡解存在并且为 $\{q_{it}^*, a_{it}^*, w_t^*\}$, 进行比较静态分析后可以得到以下结果:

$$\frac{\partial q_{it}^*}{\partial p_t} = \frac{1}{c''(q_{it})} > 0 \quad (32a)$$

$$\frac{\partial q_{it}^*}{\partial m_t} = \frac{-a \cdot [1 - E(\beta_t)]}{c''(q_{it})} < 0 \quad (32b)$$

$$\frac{\partial q_{it}^*}{\partial \alpha} = \frac{-\{m_t \cdot [1 - E(\beta_t)] + w_t E(\beta_t)\}}{c''(q_{it})} < 0 \quad (32c)$$

$$\frac{\partial a_{it}^*}{\partial m_t} = \frac{1 - E(\beta_t)}{T''(a_{it})} > 0 \quad (32d)$$

$$\frac{\partial w_t^*}{\partial m_t} = \frac{1}{2 + (1 - 2/w_t)(m_t - w_t)} \quad (32e)$$

可以由(32e)式得知,厂商对二级交易市场的预期价格,对其在一级市场的出价有某种程度的影响,但两者间却不一定呈现正相关,而是取决于下列条件:

$$\begin{cases} \text{当 } m_t \geq \left(w_t \cdot \frac{w_t - 4}{w_t - 2} \right) \text{ 时, } \frac{\partial w_t^*}{\partial m_t} \geq 0 \\ \text{当 } m_t < \left(w_t \cdot \frac{w_t - 4}{w_t - 2} \right) \text{ 时, } \frac{\partial w_t^*}{\partial m_t} < 0 \end{cases} \quad (33)$$

根据(33)式可知,厂商对配额的潜在出价曲线有两种可能,在图5第一象限中的 $w_t = B_1(m_t)$ 及 $w_t = B_2(m_t)$ 可以分别表示,二者均以 $w_t = 2$ 为渐近线。在一般情况下,当配额的二级交易市场价格为0时(即配额为免费品),厂商在交易市场的出价不可能为正值,因此, $w_t = B_2(m_t)$ 与实际状况不符(或称为不可能存在),所以可能存在的出价曲线将如 $w_t = B_1(m_t)$ 所示。

由以上推论,可以借由图5得到以下几点结论:

(1)如果厂商随其出价时起可得所需配额量的比率以递增速度增加时,那么厂商在一级市场中的出价将随着二级交易市场中配额价格的上涨(或下跌)而提高(或降低),但出价水平

有其上限,如在图5中,此上限等于2,通常是厂商对配额的保留价格。然而,当厂商可得的所需排放量的比例,随其出价以递增速度增加后,厂商在一级市场的出价与二级市场的配额价格之间的正相关将不再存在。

(2)由(31c)式可证:一级市场中配额价格通常低于二级交易市场中的价格^①。

从上述结论中,我们就能合理解释为何在美国EPA的酸雨方案中一级市场价格与二级市场的价格两者之间呈正相关,一级市场价格低于二级市场价格的现象。

(三) 免费分配与拍卖制度的比较

如在初期配额实行免费分配,那么厂商是用 $p_i = c'(q_{ii}) + \alpha m_i$ 来决定产量;在拍卖制度下,则以 $p_i = c'(q_{ii}) + \alpha m_i \cdot [1 - E(\beta_i)] + w_i \cdot E(\beta_i)$ 来决定其产品市场的产量。在短期内,产品市场的价格不变,而且一级市场的出价低于二级市场的均衡价格,由此可以推论得知: $\alpha \cdot m_i > \alpha \cdot m_i [1 - E(\beta_i)] + w_i \cdot E(\beta_i)$ 。因此,在边际生产成本递增的假设下,实行免费分配的产量将低于拍卖制度下的产量。

在期初实行免费分配时,厂商会以 $T'(a_{ii}) = m_i$ 来决定其减排量;在拍卖制度下,则以 $T'(a_{ii}) = m_i \cdot [1 - E(\beta_i)] + w_i \cdot E(\beta_i)$ 来决定其减排量。在短期内,配额交易制度的均衡价格不变,并且高于厂商在一级市场的出价,因此免费分配下的减排量会比在拍卖方式下的减排量更高。这里不同于传统论点的关键因素是由于本文兼顾以分配为导向的一级市场和以成本有效性为导向的二级市场并存,二级市场的存在,可以激励免费取得配额的厂商有意愿提高其控制温室气体排放的水平。

综上所述可以得知,拍卖制度符合污染者付费和社会正义的原则,且能激励厂商生产更多,但是,免费分配在短期下却能激励更多的碳减排量。原因在于免费分配下,厂商更有意愿提高碳减排量,以拿出剩下的配额在二级市场上进行交易而获取利润。因此,两者之间的取舍将由社会或决策制定者对不同目标的偏好权重来决定。

五、结论

碳排放权交易制度中两个重要的问题分别是配额的有效期和期初的发放方式。本文第三节首先分析厂商在配额永久有效和当期有效两种不同的设计下,比较其生产量与碳减排的决策,同时分别推导出不同有效期下配额的净市场需求函数,从而为二级市场配额价格的差异性,建立一般性的理论基础。结果显示:(1)在配额永久有效时的产量与减排量,和当期有效时略有不同,在永久有效的情况下,厂商的最优产量取决于当产品市场价格等于边际生产成本和边际产量所需配额的利息支出所对应的产量;而最优减排量则取决于当边际减排成本等于边

^①这是因为 $E(\beta_i)$ 及 $E(\beta_i)'$ 均为正值,因此 $E(\beta_i)/E(\beta_i)'$ 为正。将此结果代入式(31c)即可得知 $m_i > w_i$ 。

际排放量所需配额的利息支出所对应的减排量。(2)比较静态分析表明,同一外生变量对产量与减排量的影响符号,不会随着配额有效期的不同而变化。(3)在当期有效配额制度下的产品均衡价格水平会高于永久有效下的水平;换句话说,即便不考虑行政成本可能因为配额的有效期不同而变化的情况,产品均衡价格仍会因配额的有效期不同而变化。(4)配额的均衡价格也会因为配额的有效期不同而变化,永久有效的配额价格将高于当期有效时的价格,因此本文首次为一般常理的预期提供了理论基础。

本文在第四节中设计一个拍卖与交易同时并存的碳排放交易体系,并且假设期初拍卖制度是日本式的,之后厂商可在二级交易市场进行配额的买卖。本文为厂商建立了一级市场中的出价函数,也同时建构出其在一级市场出价与二级市场价格的关系函数。根据模型推论结果显示:(1)当出价水平足够低时,厂商在一级市场中取得所需的配额比例的期望值,将随着出价水平而呈现递增速度的增加,但当期出价水平足够高的时候,则会随着出价水平而以递减速度增加。(2)如厂商可获得的配额量的比例随其出价而以递增速度增加时,在一级市场中的出价将随二级交易市场中配额的价格上涨(下跌)而提高(降低),但出价水平将有其上限,此上限通常为此厂商对配额的保留价格。而当厂商可得的所需配额量的比例随着其出价而呈现递减速度增加时,在一级市场中的出价与二级交易市场的价格之间的正相关将不存在。(3)一级市场中配额价格通常会低于二级交易市场中的价格。结论(2)和(3)能合理地说明美国EPA酸雨市场中一级市场价格与二级市场价格呈正相关,且前者低于后者的现象。

最后,本文进一步对期初分配采取拍卖制或免费发放制时厂商的决策行为进行比较。结果表明在边际生产成本递增的假设下,实行免费分配制度的产量将低于拍卖制度下的产量,但减排量则高于拍卖下的减排量。因此,拍卖制度虽然能符合污染者付费及社会正义原则,并激励厂商生产较多的产量,但与免费分配制度相比,只能促进较少的减排量。因此,本文虽未探讨期初拍卖与免费发放同时存在的情况,但对这两种情况已经分别作出一般基础性比较,而两者间的取舍将由社会总体和决策制定者对于不同目标的偏好权重决定。

附录:

伽玛分布参数变动的的影响

若 \hat{v} 的概率分布为 $\alpha=2, \beta=1$ 的伽玛分布(即 $f(\hat{v})=\hat{v} \cdot e^{-\hat{v}}, \forall \hat{v}>0$, 则期望值 $E(\hat{v})=2$, 方差 $\text{Var}(\hat{v})=2$, 此时 β 的期望值的特性如下:

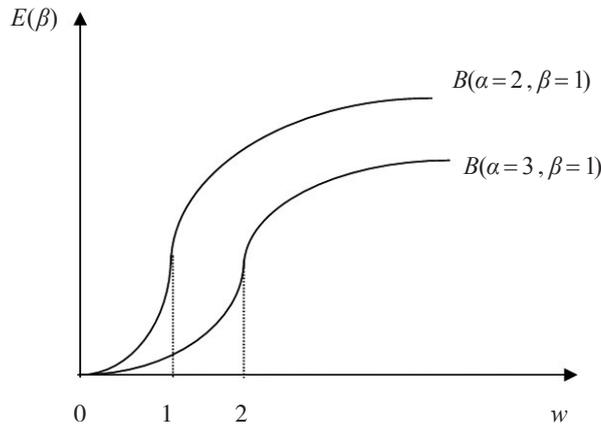
$$E(\beta) = 1 - \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot (w+1) \cdot e^{-w} \quad (1)$$

$$\frac{\partial E(\beta)}{\partial w} = \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot w \cdot e^{-w} > 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 E(\beta)}{\partial w^2} = \left[1 - \frac{(1-h)^2}{2} \right] \cdot (1-w) \cdot e^{-w} \quad (3)$$

因此,厂商在一级市场中的出价与其取得所需配额量之比将如图 A-1 中曲线 $B(\alpha=2, \beta=1)$, 其形态与曲线 $B(\alpha=3, \beta=1)$ 相似。

由上述说明可知,不论其余厂商的最高出价 \hat{v} 的伽玛分布的参数值如何,第四节的结论大致不变。



图A-1 w 与 $E(\beta)$ 的关系

参考文献:

- [1] 李丛祯. 京都议定书经济影响评估模型之建立、持续维护及调整 (3/5)[R]. 2008.
- [2] 李坚明. 产业部门排放额度核配规划与低碳转型策略[J]. 工业总会, 2011, 8: 26-32.
- [3] 吴再益, 李坚明, 赖英昆. 建立温室气体排放权交易制度之规划研究[R]. 1999.
- [4] 黄宗煌, 李坚明. 厂商在温室气体排放权交易制度下之投资决策[R]. 1999.
- [5] 黄宗煌, 杨晴雯. 京都议定书经济影响评估模型之建立、持续维护及调整 (5/5)[R]. 2010.
- [6] 童迁祥. CO₂减量配额建议方案[R]. 2011.
- [7] Downing, P. and L.White. Innovation in Pollution Control[J]. Environmental Economics and Management, 1986, 13: 18-29.
- [8] Franciosi, R., R.M.Isaac, D.E.Pingry, and S.S.Reynolds. An Experimental Investigation of the Hahn-Noll Revenue Neutral Auction for Emission Licenses[J]. Environmental Economics and Management, 1993, 24: 1-24.
- [9] Janssen, M. In Modeling Global Change : The Art of Integrated Assessment Modeling, Advances in Ecological Economics[M]. Boston: MPG Books, 1998.
- [10] Kort, P.M. Pollution Control and the Dynamics of the Firm the Effect of Market-base Instruments on Optimal Firm Investment[J]. Optimal Control Application & Methods, 1996, 17(4): 267-279.

[11] Malueg,D.A. Welfare Consequences of Emission Credit Trading Programs[J]. Environmental Economics and Management, 1990, 19: 66-77.

[12] Milliman,S.R. and R.Prince. Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1989, 17(3): 247-265.

[13] Rose,K. Implementing an Emissions Trading Program in an Economically Regulated Industry: Lessons from the SO₂ Trading Program[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.

[14] Rose,A. and B.Stevens. The Efficiency and Equity of Marketable Permits for CO₂ Emission[J]. Resource and Energy Economics, 1993, 15(1): 117-149.

Analyse the Impact of the Carbon Emissions Allocation Model on Firm's Strategy

Huang Zonghuang^a and Cai Shifeng^b

(a: Taiwan Research Institute; b: Center of Hubei Cooperative Innovation for Emission
Trading System, Hubei University of Economic)

Abstract: This paper examines the impact of carbon emissions allowance on production and producer's emissions policy. A theoretical model is built to derive the demand for permanent and temporary permits of emissions allowance. Thereby, analytical analysis are conducted for producers' emissions policy under different types of permits under auction method or historical method. It is found that the commodity price is higher in the case of a temporary permit, but permit price is higher in the case of a permanent permit. It is also found that the permit price is lower in the auction market, and output level is higher in the market with the auction system. However, emissions regulation can be more effective under free allocation.

Keywords: Carbon Trading; Emissions Allowance; History Method; Auction

JEL Classification: O13, Q01

(责任编辑:卢玲)